

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Anlagensteuerungstechnik
der Universität Dortmund (Prof.-Dr. Sebastian Engell)

Band 3/2007

Kai Dadhe

**Zuverlässigkeitsanalyse nichtlinearer
Black-Box-Modelle für verfahrenstechnische Prozesse**

D 290 (Diss. Universität Dortmund)

Shaker Verlag
Aachen 2007

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Dortmund, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2007

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6776-6

ISSN 0948-7018

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Verfahrenstechnische Prozesse weisen häufig stark nichtlineares Verhalten und Nichtidealitäten auf. Die rigorose Modellbildung basierend auf physikalischen und chemischen Phänomenen ist deswegen zeitaufwendig, und die resultierenden Modelle besitzen eine hohe Komplexität. Kommen zusätzlich nicht genau bekannte oder nicht messbare interne Zusammenhänge hinzu, werden durch Messdaten bestimmte Black-Box-Modelle eingesetzt. Das Hauptproblem der Black-Box-Modelle ist jedoch die Zuverlässigkeit der Prädiktion, die sich auf Bereiche mit hinreichend vielen Messdaten beschränkt.

Diese Arbeit hat daher die Zielsetzung, die Zuverlässigkeit nichtlinearer stationärer und dynamischer Modelle, die aus Messdaten identifiziert werden, zu analysieren. Unter Verwendung statistischer Methoden wird ein Vertrauensbereich errechnet, in welchem der wahre Wert der durch das Modell vorhergesagten Größe mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit liegt. Je enger dieser ist, desto zuverlässiger ist die Modellprädiktion. Zum Einsatz kommen dabei sowohl auf Linearisierung basierende asymptotische als auch verschiedene Bootstrap-Verfahren der computergestützten Statistik mit den Vorteilen, dass für die Anwendung nur wenige einschränkende Annahmen getroffen werden müssen und sie mit moderner Rechenleistung effizient auszuführen sind.

Die in dieser Arbeit verwendeten nichtlinearen stationären und dynamischen Modelle gehören zur Klasse der vorwärts gerichteten Neuronalen Netze. Um die Anwendung der Zuverlässigkeitsanalyse auch auf andere nichtlineare Modellklassen aufzuzeigen, wird die Beschreibung, Herleitung und Beweisführung der Verfahren zu einem Großteil unabhängig von der gewählten Parametrierung durchgeführt. Zur Veranschaulichung der Methoden für stationäre Modelle werden neben bekannten Beispielen aus der Literatur zwei reale Anwendungen aus der Chemometrie behandelt.

Für die Analyse der Zuverlässigkeit von Mehrschrittprädiktionen nichtlinearer dynamischer Modelle sind nur wenige Ansätze bekannt. Die vorhandenen Bootstrap-Methoden berücksichtigen keine exogenen Variablen und sind deswegen im Kontext der Regelungstechnik ungeeignet. Ein wesentlicher Beitrag dieser Arbeit ist die Einführung entsprechender Methoden, deren Eigenschaften theoretisch bewiesen werden. Zwei Simulationsstudien illustrieren die praktische Anwendbarkeit. Es handelt sich um ein einfaches Benchmark-Beispiel und um ein komplexes Modell eines Bioreaktors. Die dabei erzielten Ergebnisse belegen die Güte der Methoden und zeigen die Richtung für weitere Entwicklungen auf: die Integration der Zuverlässigkeitsanalyse in die nichtlineare modellprädiktive Regelung.

Das Problem der Robustheit nichtlinearer modellprädiktiver Regelungen ist in der Literatur beschrieben, die dazu vorhandenen Methoden können jedoch lediglich für lineare Modelle implementiert werden. Durch die Integration der Zuverlässigkeitsanalyse in eine in dieser Arbeit neu eingeführten Synthesevorschrift zur nichtlinearen modellprädiktiven Regelung kann robustes Verhalten erzielt werden. Die Eigenschaften werden unter Zuhilfenahme der Theorie invarianter Mengen gezeigt, die Regelgüte wird mit umfangreichen Studien am Modell des Bioreaktors veranschaulicht.

Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen den Nutzen der Zuverlässigkeitsanalysen im Rahmen der Black-Box-Modellierung und der nichtlinearen modellprädiktiven Regelung.